

修井作业中常见卡钻机理及多元化解卡技术综合研究与应用分析

杨帆

西部钻探工程有限公司试油公司, 新疆 克拉玛依 834000

DOI:10.61369/EAE.2026010010

摘要 : 油田修井作业是维持油气井正常生产、恢复产能的关键技术手段, 而卡钻作为修井过程中最为常见且复杂的井下故障, 严重制约作业效率, 甚至可能导致井眼报废, 造成巨大的经济损失。本文系统阐述了油田修井作业中卡钻事故的成因、分类及危害。核心聚焦于卡点位置的精确计算方法与四种主流解卡技术的工作原理、适用条件、操作要点及技术局限性。通过结合现场典型实例分析, 深入探讨了不同卡钻类型下技术方案的优选策略与综合应用流程。

关键词 : 修井作业; 卡钻机理; 卡点计算; 解卡技术; 现场应用; 技术展望

Comprehensive Research and Application Analysis of Common Sticking Mechanisms and Diversified Sticking Solutions in Well Servicing Operations

Yang Fan

Oil Testing Company, Xibu Drilling Engineering Co., Ltd. Karamay, Xinjiang 834000

Abstract : Oilfield workover operations are key technical means to maintain normal production and restore productivity of oil and gas wells. However, sticking, as the most common and complex downhole failure during workover operations, severely restricts operational efficiency and may even lead to wellbore abandonment, causing huge economic losses. This article systematically expounds the causes, classification, and hazards of sticking accidents in oilfield workover operations. The core focuses on the precise calculation method of the sticking point location and the working principles, applicable conditions, operational points, and technical limitations of four mainstream sticking release technologies. Through analyzing typical field examples, this article deeply discusses the optimal selection strategy and comprehensive application process of technical solutions for different types of sticking.

Keywords : workover operation; mechanism of drill jamming; calculation of jamming points; unjamming technology; field application; technology outlook

引言

油田开发进入中后期, 井下状况日趋复杂, 修井作业的频率与重要性日益凸显。修井作业旨在通过一系列工程技术措施, 排除油气井故障, 修复损坏的井身结构或设备, 恢复或提高单井产量与采收率, 是油田稳产增产的生命线工程。然而, 修井作业本身具有高投入、高风险、高技术含量的特点, 其过程受到地质条件、井筒状况、流体性质、工具性能及人为操作等多重因素的交织影响, 充满了不确定性^[1-2]。

在诸多井下复杂情况与事故中, “卡钻”(Pipe Sticking)无疑是最令现场工程师棘手的问题之一。卡钻是指井下管柱(如油管、钻杆、封隔器、工具串等)在起下钻或静止过程中, 因机械、地质或化学原因, 被非正常地固定于井筒内, 无法自由上提、下放或转动的现象。卡钻事故不仅会导致昂贵的作业时间损失、设备损耗, 若处理不当, 极易引发如井漏、井涌、井塌甚至井眼报废等次生灾难, 造成数百万乃至上千万的经济损失, 并对油田的平稳生产构成严重威胁^[3-4]。因此, 深入研究卡钻的形成机理, 发展并完善高效、安全的解卡技术, 建立科学的决策与应对体系, 是提升修井作业成功率和经济效益的核心课题^[5]。

一、卡钻事故的成因、分类与分析

(一) 卡钻的主要成因

卡钻成因复杂,主要可归纳为以下几类:地质因素:地层不稳定(如疏松砂岩、易塌页岩)、异常高压地层、盐膏层蠕变、地层孔隙压力与井筒液柱压力失衡等。井筒因素:套管变形、破损、腐蚀产生“狗腿”或缩径点;水泥环脱落或窜槽;固井质量差导致套管外封隔失效。工艺与流体因素:钻井液或完井液性能不佳(如失水量大、携砂能力差、润滑性差);冲砂、磨铣等作业产生的碎屑沉降;压裂后支撑剂回流;注水井长期冲刷导致井壁失稳。工具与设备因素:封隔器、锚定器等井下工具故障或失效(如胶筒膨胀后无法收缩、卡瓦牙损坏);管柱或工具本身存在质量问题(如壁厚不均、连接螺纹磨损)。人为操作因素:操作不当(如起下钻速度过快、猛提猛刹)、判断失误(如循环不充分即起钻)、设计不合理(如钻具组合刚性过大)、对井下情况认识不足^[6-7]。

(二) 卡钻的常见类型

根据卡钻的直接原因和表现形式,可进行如下分类:砂卡:最常见类型。地层出砂、作业沉砂(如水泥碎块、岩屑、金属碎屑)在管柱与套管环空或工具内部堆积、压实,将管柱“埋住”。可分为“沉降砂卡”和“压差砂卡”(当井底压力低于地层压力时,地层砂在压差作用下快速流入井筒)^[8-9]。落物卡:井口工具、小件物品掉入井内,在管柱与套管环空间隙处楔入,造成卡阻。水泥(固化)卡:固井、挤水泥或注水泥塞作业时,水泥浆窜入环空并凝固,将管柱固结。

二、卡点位置的确定方法与技术

准确确定卡点(Free Point)深度是制定有效解卡方案的前提。卡点以上管柱可自由活动或受力变形,卡点以下则被固定^[10]。确定方法主要有两大类:

(一) 理论算法(基于胡克定律)

此法适用于管柱在弹性变形范围内的卡钻。根据胡克定律,在弹性限度内,杆件的伸长量(ΔL)与所受拉力(F)、原长(L)成正比,与横截面积(A)和杨氏模量(E)成反比。对于多级钻具组合,需分段计算。基本原理:在井口对卡钻井口施加一定上提力 F ,测量管柱伸长量 ΔL 。假设卡点就在第一个接箍处,则可根据公式估算卡点深度 L 。实际操作中,通常采用多次(如3次)不同拉力上提,测量对应伸长量,取平均值以减少摩擦等因素误差。计算公式: $L = K * \Delta L / F$ 其中, $K = E * A$,称为管柱的“拉伸系数”,与管材和尺寸有关,可查表获得。

(二) 工程测量法为获得精确卡点,必须依靠井下测量工具。

1.测卡仪(Free Point Indicator, FPI)法:是目前最直接、最常用的方法。FPI工具串通常包括磁性定位器、张力/扭矩传感器等。将其下至预测卡点附近,在地面通过转盘对管柱施加扭矩

或通过大钩施加拉力。FPI传感器检测管柱的应力/应变突变点,通过电缆将信号实时传至地面面板,直接显示卡点深度。该方法直观、精度高(可达 ± 1 米)。

2.声幅测井(Cement Bond Log, CBL)法:在无法下入FPI或需要辅助验证时使用。通过对被卡管柱进行声幅测井,分析声波在管柱中的传播特征。在卡点以上,管柱自由,声波衰减较慢;在卡点以下,管柱被固结,声波能量衰减迅速。通过对比测井曲线,可以判断卡点位置。该方法对水泥固卡尤为有效。

3.其他辅助判断方法:包括井温测井(卡点上下循环温度可能存在差异)、放射性示踪测井等,可作为辅助手段。

三、多元化解卡技术原理与应用分析

解卡技术需根据卡钻类型、严重程度、井况和设备条件综合选择。以下对四种主要技术进行详细分析。

(一) 活动解卡法

对卡钻井口施加周期性、方向交替的载荷(上提、下压、或配合少量转动),使卡点处产生交变应力,促使卡堵物(如砂子)松动、错动,或使粘附的滤饼破裂,从而解除卡阻。应用:适用于轻微砂卡、粘卡初期、封隔器卡及有少量活动余量的卡钻。

(二) 憋压恢复循环解卡法

通过地面泵向管柱内或环空施加脉冲压力,利用液体的压力波动冲击卡点,疏通被堵的水眼或环空通道,恢复循环,利用循环液携带出卡堵物。应用:主要用于砂卡、水泥块堵塞等导致循环中断的情况。

(三) 冲洗解卡法

原理:利用特种冲洗工具(如连续油管、小尺寸冲管或套铣筒)建立新的循环通道,直接对卡点处的沉砂或落物进行高压水射流冲刷,将其冲散并携带出井。分类:连续油管/冲管内冲洗:适用于油管或钻杆水眼被堵,但环空可能通畅的情况。下入小直径连续油管至鱼顶,建立通过连续油管-环空的循环。套铣筒外冲洗:适用于鱼顶被埋。下入外径小于套管内径、内径大于落鱼外径的套铣筒,套住落鱼顶部,在套铣筒与落鱼环空建立循环进行冲洗。

(四) 震击解卡法

原理:在打捞工具组合中接入震击器(上击器或下击器)和加速器。通过地面大幅度活动管柱储能,然后瞬间释放,震击器将储存的势能转化为向下或向上的高强度机械冲击力(震击力),传递至卡点,使卡点产生瞬间松动。应用:适用范围最广的解卡方法之一,对砂卡、粘卡、封隔器卡、小落物卡等均有较好效果,常作为其他方法(如倒扣后)的后续措施。

四、典型案例分析

井况:某注水井,起原井管柱(带封隔器)遇卡。初步活动无效。诊断:测卡仪显示卡点在封隔器坐封位置。结合该井长期注水、出砂历史,判断为“砂卡+封隔器失效”复合卡钻。综合

处理流程：第一步（活动+震击）：在井口安装液压震击器，进行高强度上提下放活动，配合震击。施工2天，管柱有微量上行但未解卡。第二步（爆炸松扣）：决定取出卡点以上管柱。在封隔器以上约30米处（计算出的安全接头位置）进行爆炸松扣成功，起出上部全部油管。第三步（套铣冲洗）：下入套铣筒组合，对封隔器以上环空沉砂进行套铣和冲洗，建立清洁井眼至封隔器顶部。第四步（震击解卡）：下入打捞震击器组合，捞住封隔器中心管。经过数十次震击，封隔器解卡成功，连同下部少量尾管一起捞出。第五步（通井检测）：下通井规通井，确认井眼畅通，无套管损伤。

五、结论

卡钻是油田修井作业中无法完全避免的复杂井下事故。其成

功处理依赖于对卡钻成因的准确诊断、卡点位置的精确测定以及解卡技术的科学选择与综合应用。

（1）卡钻类型多样，成因复杂，需结合地质、工程、流体等多方面信息进行综合判断。精确测定卡点是有效解卡的基石，工程测量法（尤其是测卡仪）优于理论计算法。

（2）解卡技术已发展出从简单活动到复杂钻磨的多元化体系。各种技术各有其适用条件和局限性，不存在“万能”方法。现场实践中必须遵循“安全第一、诊断先行、循序渐进、组合应用”的原则。

（3）面对深井、复杂结构井等新挑战，未来的解卡技术将向智能化、精细化、高效化和低伤害化方向发展。大数据、人工智能、新材料和新工艺的融合应用，将推动井下事故处理技术进入一个全新的阶段。

参考文献

- [1] 孙中伟. 试述油田井下作业过程中的解卡技术[J]. 化工设计通讯, 2017, 43(06): 123-124.
- [2] 王德承. 控制粘卡程度实现快速解卡[J]. 钻采工艺, 1990, 13(02): 45-48.
- [3] 石油钻采工艺编辑部. 8126解卡液现场试验获得成功[J]. 石油钻采工艺, 1982, (05): 78-81.
- [4] 吴福源, 荀忠义, 李云松. 多功能液压解卡装置的现场应用[J]. 内蒙古石油化工, 2020, 46(05): 95-97.
- [5] 刘伟, 张琪, 李明. 深井超深井卡钻事故处理技术进展[J]. 石油钻探技术, 2019, 47(04): 1-8.
- [6] 王瑞和, 周卫东, 步玉环. 钻井工程事故预防与处理[M]. 北京: 石油工业出版社, 2015.
- [7] 杨虎, 刘伟, 周英操. 水平井卡钻机理与解卡技术现状及展望[J]. 石油钻采工艺, 2016, 38(03): 289-295.
- [8] 张发展, 王在强, 胡超. 高效解卡液体系的研制与性能评价[J]. 钻井液与完井液, 2018, 35(02): 70-74.
- [9] 陈毅, 李军, 柳贡慧. 基于振击与循环复合作用的解卡工具研究与试验[J]. 石油机械, 2021, 49(07): 62-68.
- [10] 董平华, 石祥超, 孟英峰. 深水钻井中卡钻风险预警与解卡决策系统[J]. 石油学报, 2014, 35(05): 969-975.